

**(2) Japanese Patent No. 2810370 (1998)**

**“FOCUSED ION BEAM PROCESSING METHOD”**

The following is English translation of [Claim 1] and [Advantageous Effect  
5 of the Invention] from the above-identified document relevant to the present  
application.

[Claim 1]

A focused ion beam processing method comprising the steps of:  
10 irradiating and scanning in a vacuum atmosphere an area of a movable  
material to be processed mounted on a stage positioned for processing or observation  
with a focused ion beam to process said area,  
halting the irradiation of said focused ion beam to stop processing of said  
area,  
15 irradiating and scanning an observation area comprising said area to be  
processed and its periphery with a focused ion beam focused more narrowly than that  
for irradiating said area to be processed from a direction different from an irradiation  
direction of said focused ion beam in relation to a surface of said area to be  
processed while halting the irradiation of said focused ion beam,  
20 detecting a secondary electron generating from said observation area with  
irradiation and scanning of said focused ion beam to display a SEM image of said  
observation area.

[Advantageous Effect of the Invention]

As described above, according to the present invention, since a SEM image  
25 of a process hole can be obtained without moving a sample or a material to be

processed even while processing the sample or the material with a focused ion beam, an advantageous effect of promptly monitoring processing depth by ion process and observing a bottom face shape of the process hole is achieved.

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 特 許 公 報 (B 2)

(11) 特許番号

第2810370号

(45) 発行日 平成10年(1998)10月15日

(24) 登録日 平成10年(1998) 7月31日

(51) Int.Cl.<sup>8</sup>

識別記号

F I

H 0 1 L 21/3065  
21/302

H 0 1 L 21/302

E  
Z  
D

請求項の数9 (全 12 頁)

(21) 出願番号 特願昭63-3062

(22) 出願日 昭和63年(1988) 1月12日

(65) 公開番号 特開平1-181529

(43) 公開日 平成1年(1989) 7月19日

審査請求日 平成5年(1993) 6月18日

審判番号 平8-14941

審判請求日 平成8年(1996) 9月5日

(73) 特許権者 999999999

株式会社 日立製作所  
東京都千代田区神田駿河台4丁目6番地

(72) 発明者 伊藤 文和

神奈川県横浜市戸塚区吉田町292番地  
株式会社日立製作所生産技術研究所内

(72) 発明者 原市 聡

神奈川県横浜市戸塚区吉田町292番地  
株式会社日立製作所生産技術研究所内

(74) 代理人 弁理士 秋本 正実

合議体

審判長 小林 武

審判官 小野田 誠

審判官 松田 悠子

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 集束イオンビーム加工方法

1

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】 真空雰囲気中で移動可能で加工又は観察のために位置決めされたステージ上に載置された被加工物の被加工領域に集束イオンビームを照射走査して前記被加工領域を加工し、前記集束イオンビームの照射を停止させて前記被加工領域の加工を停止し、該集束イオンビームの照射を停止させた状態で前記被加工領域の表面に対する前記集束イオンビームの照射方向に対して異なる方向から前記被加工領域より細く絞った集束電子ビームを前記被加工領域とその近傍領域とからなる観察領域に照射走査し、前記集束電子ビームの照射走査によって前記観察領域から発生する2次電子を検出して前記観察領域のSEM像を表示することを特徴とする集束イオンビーム加工方法。

【請求項2】 真空雰囲気中で移動可能で加工又は観察の

2

ために位置決めされたステージ上に載置された被加工物の被加工領域に集束イオンビームを照射走査して前記被加工領域を加工し、該加工の途中において前記集束イオンビームの照射を停止させ、該停止させた状態で前記被加工領域の表面に対する前記集束イオンビームの照射方向に対して異なる方向から前記被加工領域より細く絞った集束電子ビームを前記被加工領域とその近傍領域とからなる観察領域に照射走査し、前記集束電子ビームの照射走査によって前記観察領域から発生する2次電子を検出して前記観察領域のSEM像を表示し、該表示したSEM像に基づいて前記集束イオンビームを再度前記被加工領域に照射走査して加工を行うことを特徴とする集束イオンビーム加工方法。

10

【請求項3】 真空雰囲気中で移動可能で加工又は観察のために位置決めされたステージ上に載置された被加工物

の被加工領域に集束イオンビームを照射走査して前記被加工領域を加工し、該集束イオンビームの照射走査により前記被加工領域から発生する2次荷電粒子を検出して前記被加工領域のSIM像を表示し、前記集束イオンビームの前記被加工領域への照射を停止させた状態で前記被加工領域の表面に対する前記集束イオンビームの照射方向に対して異なる方向から前記被加工領域より細く絞った集束電子ビームを前記被加工領域とその近傍領域とからなる観察領域に照射走査し、前記集束電子ビームの照射によって前記観察領域から発生する2次電子を検出して前記観察領域のSEM像を表示することを特徴とする集束イオンビーム加工方法。

【請求項4】集束イオンビームを照射走査している間、集束電子ビームをブランキング状態におき、該集束電子ビームを照射走査している間、前記集束イオンビームをブランキング状態におくことを特徴とする請求項1～3の何れかに記載の集束イオンビーム加工方法。

【請求項5】集束イオンビームを、エッチングガスの雰囲気中で被加工領域に照射走査することを特徴とする請求項1～3の何れかに記載の集束イオンビーム加工方法。

【請求項6】真空雰囲気中で移動可能で加工又は観察のために位置決めされたステージ上に載置された被加工物の被加工領域を集束イオンビームを用いて加工する方法であって、前記被加工領域に集束イオンビームを照射走査して前記被加工領域を加工する工程と、前記被加工領域に電子シャワーを照射する工程と、前記集束イオンビームの照射走査により加工された被加工領域とその近傍領域とからなる観察領域の表面に、前記被加工領域の表面に対する前記集束イオンビームの照射方向に対して異なる方向から前記被加工領域より細く絞った集束電子ビームを照射走査する工程と、前記集束電子ビームの照射走査により前記観察領域から発生する2次電子を検出して前記観察領域のSEM像を表示する工程とを備えたことを特徴とする集束イオンビーム加工方法。

【請求項7】前記被加工領域に電子シャワーを照射する工程を、前記被加工領域に集束イオンビームを照射走査して前記被加工領域を加工する工程に行うことを特徴とする請求項6記載の集束イオンビーム加工方法。

【請求項8】前記集束電子ビームを照射走査する工程を、前記集束イオンビームの照射走査と前記電子シャワーの照射とを停止させた状態で行うことを特徴とする請求項6記載の集束イオンビーム加工方法。

【請求項9】前記集束イオンビームを、エッチングガスの雰囲気中で前記被加工領域に照射走査することを特徴とする請求項6記載の集束イオンビーム加工方法。

【発明の詳細な説明】

【産業上の利用分野】

本発明は、LSIなどに精密に微細な穴加工を施すための方法に係り、特にその加工穴の深さや底面形状、断面

構造をリアルタイムにモニタするのに好適とされた集束イオンビーム加工方法に関するものである。

【従来の技術】

これまでにあっては、LSIなどの特定位置における断面構造はSEM (Scanning Electron Microscope) 像によって観察されるようになっている。熟練作業員によって試料の研磨と顕微鏡による試料の観察が所望の断面が出現するまで繰り返された後は、その断面がSEM像によって観察されていたものである。

- 10 一方、特開昭58-164135号公報による場合、加工手段としての集束イオンビーム発生手段と、観察手段としての電子ビーム発生手段および2次電子検出用光電子増倍管とによって、回転・移動し得るステージに載置された試料を加工し、所定のパターンの加工が完了した後は試料台を電子ビームに対し所望の角度と位置になるべく試料台を移動させ、電子ビームを照射することで試料の2次電子像が観察されるようになっている。

【発明が解決しようとする課題】

- 20 しかしながら、これまでにあっては、集束イオンビームによる加工の進行途中で試料を動かすことなく電子ビームを照射することで、試料の加工形状の変化を観察する点については配慮がされておらず、加工深さのインプロセス測定や加工層を速やかに判定し得ないという不具合がある。

- また、上記公報による場合その不具合に加えLSIによく用いられる材料であるSiやSiO<sub>2</sub>をイオンビームによりスパッタエッチした場合、加工穴底面からスパッタされた粒子の一部が加工穴側壁に付着し（再付着現象）てしまい、側面に現われるはずのLSIの断面構造が良好に観察され得ないものとなっている。更に、研磨によって観察に適した良好な断面が得られる場合にはまた熟練作業員の不足と相俟って、観察により多くの時間が要されるものとなっている。

- 30 本発明の目的は、試料あるいは被加工物を集束イオンビームによって加工中であつても、試料あるいは被加工物を移動させることなく加工穴についてのSEM像、更には、SIM (Scanning Ion Microscope) 像を得ることで、インプロセスでの加工深さモニタや加工穴底面形状の観察を速やかに行ない得る集束イオンビーム加工方法を供するにある。

【課題を解決するための手段】

- 40 上記目的は、真空雰囲気中で移動可能で加工又は観察のために位置決めされたステージ上に載置された被加工物の被加工領域に集束イオンビームを照射走査して前記被加工領域を加工し、前記集束イオンビームの照射を停止させて前記被加工領域の加工を停止し、該集束イオンビームの照射を停止させた状態で前記被加工領域の表面に対する前記集束イオンビームの照射方向に対して異なる方向から前記被加工領域より細く絞った集束電子ビームを前記被加工領域とその近傍領域とからなる観察領域

は照射走査し、前記集束電子ビームの照射走査によって前記観察領域から発生する2次電子を検出して前記観察領域のSEM像を表示することで達成される。

また、真空雰囲気中で移動可能で加工又は観察のために位置決めされたステージ上に載置された被加工物の被加工領域に集束イオンビームを照射走査して前記被加工領域を加工し、該加工の途中において前記集束イオンビームの照射を停止させ、該停止させた状態で前記被加工領域の表面に対する前記集束イオンビームの照射方向に対して異なる方向から前記被加工領域より細く絞った集束電子ビームを前記被加工領域とその近傍領域とからなる観察領域に照射走査し、前記集束電子ビームの照射走査によって前記観察領域から発生する2次電子を検出して前記観察領域のSEM像を表示し、該表示したSEM像に基づいて前記集束イオンビームを再度前記被加工領域に照射走査して加工を行うことで達成される。

更には、真空雰囲気中で移動可能で加工又は観察のために位置決めされたステージ上に載置された被加工物の被加工領域に集束イオンビームを照射走査して前記被加工領域を加工し、該集束イオンビームの照射走査により前記被加工領域から発生する2次荷電粒子を検出して前記被加工領域のSIM像を表示し、前記集束イオンビームの前記被加工領域への照射を停止させた状態で前記被加工領域の表面に対する前記集束イオンビームの照射方向に対して異なる方向から前記被加工領域より細く絞った集束電子ビームを前記被加工領域とその近傍領域とからなる観察領域に照射走査し、前記集束電子ビームの照射によって前記観察領域から発生する2次電子を検出して前記観察領域のSEM像を表示することで達成される。

更にはまた、真空雰囲気中で移動可能で加工又は観察のために位置決めされたステージ上に載置された被加工物の被加工領域を集束イオンビームを用いて加工する方法であって、前記被加工領域に集束イオンビームを照射走査して前記被加工領域を加工する工程と、前記被加工領域に電子シャワーを照射する工程と、前記集束イオンビームの照射走査により加工された被加工領域とその近傍領域とからなる観察領域の表面に、前記被加工領域の表面に対する前記集束イオンビームの照射方向に対して異なる方向から前記被加工領域より細く絞った集束電子ビームを照射走査する工程と、前記集束電子ビームの照射走査により前記観察領域から発生する2次電子を検出して前記観察領域のSEM像を表示する工程とを備えることで達成される。

#### 〔作用〕

ビーム走査切替制御手段による制御下に、集束イオンビーム発生手段からの集束イオンビームと、電子ビーム発生手段からの電子ビームとが交互に試料あるいは被加工物を照射、走査するようにして、試料あるいは被加工物を加工しつつその加工状態をモニタしようとするものである。集束イオンビームによる加工中2次荷電粒子検

出手段によって検出されら2次荷電粒子（例えば2次電子）によってはSIM像が、また、電子ビームによって照射、走査が行なわれている間、2次荷電粒子検出手段によって検出された2次電子によってはSEM像がモニタに表示されることから、それら像の表示上での相対的位置関係や表示倍率を考慮することによっては、その加工時点での加工状態が速やかに知れるものである。また、あるいは加工領域にガスを吹き付けスパッタ粒子をガス化する場合、加工穴側面へのスパッタ粒子の付着を防止し得、したがって、そこ側面からは良好なSEM像が得られることで、断面構造が良好に把握され得るものである。

#### 〔実施例〕

以下、本発明を第1図から第21図により説明する。

先ず本発明に係る集束イオンビーム加工装置について説明すれば、第1図はその一例での構成を示したものである。図示のようにメインチャンバ1にはゲートバルブ2を介しロードロックチャンバ3が設けられており、メインチャンバ1はバルブ4を介し真空ポンプにより排気され、ロードロックチャンバ3もまた真空ポンプによりバルブ5を介し排気されたものとなっている。

さて、メインチャンバ1には基本的にイオンビーム鏡筒10、電子ビーム鏡筒11、2次電子ディテクタ12および試料ステージ13が設けられるようになっている。このうちイオンビーム鏡筒10には液体金属イオン源14、イオンビーム集束用静電レンズ系15、ブランキング電極16、ブランキングアパーチャ17および偏向制御電極18が設けられており、上記各々の電極には必要な電圧が外部から印加されるようになっている。また、電子ビーム鏡筒11は通常の走査電子顕微鏡（SEM）に用いられているものと

同様なものであり、レンズ系やブランキング電極、偏向制御電極等によって試料19上に焦点を結んだ状態で試料19上を電子ビーム21によって走査するが、イオンビーム20が照射されている間電子ビーム21はブランキングされるようになっている。

ところで、試料ステージ13上に載置された試料19上へのイオンビーム20照射点の近傍には電子ビーム21がイオンビーム20とはそのビーム軸方向を異にして照射される必要があるが、このため電子ビーム鏡筒11はメインチャンバ1に対しその電子ビーム軸位置が調整可として取付けされている。

第2図は電子ビーム軸位置の粗調整を行なうための電子ビーム鏡筒取付け方法の一例を示したものである。チャンバ外壁30上に取付けされたフランジ31に対し、電子ビーム鏡筒11が取付けされたベローズ付フランジ32がそのフランジ31面上を滑動可として取付けされたものとなっている。フランジ31の上面に互いに直交して取付けられた2つのマイクロメータヘッド33によって、電子ビーム鏡筒11は真空を破ることなくその軸位置が調整可能となっているものである。また、電子ビーム照射位置の精

調整は、例えばイオンビームを走査することなく試料上の一点に照射しスポット加工を行ない、次いでその試料を電子ビームで走査しSEM像を得るようにするが、SEM像の中央にそのスポット加工穴が位置すべく電子ビーム偏向電圧を微調整すればよい。

さて、第3図に示すように電子ビーム21がイオンビーム20に対しある角度 $\theta$ をもつように電子ビーム鏡筒11は設置されるが、その角度 $\theta$ はイオンビーム20で加工された穴40の側壁41に電子ビーム21が照射されるべく設定されるようになっている。電子ビーム21は図示のように、穴40開口部を含むように広い幅 $b$ で穴40とその周辺をスキャンすることで、穴40の側壁形状情報などを含む加工状態情報がSEM像として得られるものである。このSEM像を得るための2次電子ディテクタ12は穴40の側壁41から発生される2次電子42を捉えるべく設置されるが、このことは第4図に示すように、2次電子ディテクタ12をイオンビームで加工中の穴40の側面のうち、電子ビーム照射面を直視する側に設ければよいことを示唆している。結局2次電子ディテクタ12は電子ビーム鏡筒11側に設置されることになる。しかし、第5図に示すように、2次電子ディテクタ12を、加工穴側壁を直視しないような位置に置かざるを得ない場合には、2次電子ディテクタ12の前面に正電位を持つ電極43を設けることで、側壁からの二次電子を捉えるようにすればよい。以上のようにして2次電子ディテクタ12によって捉えられた2次電子はイメージ制御器56によりモニタ57にSEM像として表示されることになるものである。イメージ制御器56では電子ビーム21をブランキングしてイオンビーム20を試料19に照射している場合には、イオンビーム20による2次電子を2次電子ディテクタ12により捉えることによって、SEM像をモニタ57に表示し得るものとなっている。なお、試料ステージ13はロードロックチャンバ3とメインチャンバ1間を試料19を保持して移動するが、試料19上の加工位置を定めるべく $x, y$ 方向に移動可となっている。望ましくは更に $z$ 軸（イオンビーム軸）、 $x$ 軸、 $y$ 軸回りに回転し得れば好都合となっている。

上記構成の装置を用いイオンビームによって穴加工を行ないつつ、その穴形状、深さ情報を得るための制御装置58について説明すれば、第6図にイオンビームによる被加工領域50と、電子ビームによって走査される観察領域51の一例を示す。イオンビームにより領域50を一面スキャンする毎に電子ビームで加工形状を観察する場合でのビームスキャンの制御の例を第7図に示す。第7図ではビームの $x$ 軸方向でのスキャンについては自明であるために図示省略しているが、イオンビームが $y$ 方向に一回スキャンする間、電子ビームはブランキングされるようになっている。イオンビームのスキャンが終了すると、電子ビームのブランキングが解かれ電子ビームによる $y$ 方向スキャンが行なわれるものとなっている。この間イオンビームはブランキングされているわけである。

以上述べたイオンビームと電子ビームの切替タイミングは、イオンビームによる加工条件により様々に変更することが望ましく、例えば、イオンビームを極めて高速にスキャンし、加工領域を一面スキャンする間に僅かしか加工しない条件で加工する場合は、イオンビームによって被加工領域50を複数回スキャンする度に電子ビームによる観察を行なえばよい。逆に後述するように、極めて遅いスキャンで加工する場合は、一回に加工される量が多いことから、このような場合にはイオンビームを $x$ 軸方向に一回ないし数回スキャンする度に、電子ビームによって観察領域51を1回スキャンすればよい。更にイオンビームのスキャンが遅い場合は、イオンビームの $x$ 軸方向へのスキャンが少し進む毎に、電子ビームによるスキャンを行なってもよい。第1図に示すイオンビーム・ブランキング制御器53、イオンビーム・スキャン制御器52、電子ビーム・ブランキング制御器55および電子ビーム・スキャン制御器54では制御装置58からのタイミング指令によって、所望にスキャン制御、ブランキング制御を行なっているものである。なお、ビームのスキャン制御は第7図に示した鋸歯状波によるアナログ的なスキャンに限られるわけではなく、照射位置座標を次々と指定してビームを移動させるデジタル的なスキャンによる場合でも、同様なスキャンが可能となっている。

ところで、試料19が半導体LSIのように表面が絶縁物でおおわれている場合は、イオンビーム20による加工でチャージアップが生じるが、このような場合には試料19に電子を照射し試料19表面での正電荷を中和する方法が採られる。このため第1図に示すように、電子シャワ銃60がメインチャンバ1に設けられている。これから発生する電子はSEM像観察にとってはノイズとなることから、電子シャワ銃60を用いる場合はブランキング制御器59により第7図に示すイオンビーム・ブランキング信号と同一タイミングで電子シャワにもブランキングがかけられるようになっている。

以上の構成の装置を用い試料19をイオンビーム20で加工しつつ、電子ビーム21で加工穴形状を観察すると、順次第8図(a)、(b)、(c)に示すようなSEM像が得られるが、SEM像の倍率 $M$ と電子ビーム21のイオンビーム20に対する角度 $\theta$ が予め知れているので、第8図(d)に示すように、穴40の深さ $D$ は以下のように求められることになる。

$$D = H / \sin \theta = Y / (M \sin \theta) \quad \cdots \cdots (1)$$

但し、側壁41の傾きは十分小さくイオンビーム20とほぼ平行であると仮定した。

したがって、SEM像より画面上の深さ $Y$ を測定することによって実際の加工深さが知れるので、加工深さは高い精度で得られるものである。

イオンビーム20が細くスパッタされた物質の側壁への再付着が少ない場合は、第8図(d)に示すように側壁41はイオンビーム20とほぼ平行になる。しかし、イオン

ビーム20が太い場合にはビーム電流分布の裾が長くなり側壁41がだれるようになる。イオンビーム径の大きさに拘わらず加工条件や加工対象、加工深さによって加工穴底面からスパッタされた物質の側壁への再付着が多い場合には側壁の傾きが大きくなる場合がある。このような場合にも式(1)によるとすれば加工深さDに誤差が生じることになる。この点を改善すべく第9図に示す加工装置ではイメージ制御器56に2つのモニタ57,57'が収容されたものとなっている。モニタ57はイオンビーム20によるSIM像を、また、モニタ57'は電子ビーム21によるSEM像を表示するために設けられたものである。したがって、モニタ57'には加工穴を斜め上方から見た像が、モニタ57には加工穴を真上から見た像を表示されることになる。具体的には第10図に示すように、加工穴40はその側壁41が斜度 $\alpha$ の四角錐台であるとして、モニタ57'には加工穴40を角度 $\theta$ 方向から見たSEM像60'が、また、モニタ57には加工穴40を真上から見たSIM像60が表示されるものである。よって、これら2つの像を用いれば、幾何学的な関係から側壁41の傾き $\alpha$ が大きい場合でも、加工穴40の深さDを正しく求めることが可能となる。

即ち、 $H = D \tan \alpha$ 、 $H' = D \sin(\alpha + \theta) / \cos \alpha$ であるとして、

$H/H' = \sin \alpha / \sin(\alpha + \theta) = K$ とおけば、 $\tan \alpha$ は $\tan \alpha = K \sin \theta / (1 - K \cos \theta)$ として表現されることから、Dは以下のように求められるものである。

$$D = H / \tan \alpha \\ = (1 - K \cos \theta) / (K \sin \theta) \quad \dots\dots (2)$$

このように、2つの像60,60'から求めたH,H'と電子ビームの傾き角 $\theta$ より加工穴の深さDが式(2)により求められるが、この計算は第11図に示すように、モニタ57,57'各々に対応する表示画面60,60'にそれぞれカーソルを出す機能を設け、カーソルが設定された座標 $Y_1 \sim Y_4$ を読みとったうえでこれを画像倍率 $M_1, M_2$ で割ることによってH',Hを求めた後は、式(2)を実現するソフトウェア機能によって、自動的に加工深さDが求められるものとなっている。なお、モニタは必ずしも2台必要ではなく第12図に示すように、イオンビームスキャン信号と電子ビームスキャン信号を切替える機構62をイメージ制御器56内に設け、1台のモニタ57にSEM像とSIM像を切替表示してもよい。また、1つの表示画面を分割しSEM像とSIM像を同時に表示してもよい。また、SEM像とSIM像の倍率は必ずしも同一である必要はなくそれぞれの倍率に応じて第11図に示す計算式に従って、それぞれの倍率 $M_1, M_2$ で表示画面からよんだ寸法 $Y_1 \sim Y_4$ を除すればよい。

ところで、加工時に太い径のイオンビーム20を用いている場合、SIM像の解像度が悪化するばかりか、大イオンビーム流によってチャージアップが生じるが、このような場合には第13図(a)に示すように、太い径のイオ

ンビーム20での加工を行ない、とりあえず必要に応じ電子シャワー65をかけるようにし、この加工途中で必要に応じ第13図(b),(c)に示すようにビーム径を大から小に切替して、イオンビーム加工を電子シャワー65をかけることなく行ない高い解像度のSIM像を得るとともに、イオンビーム20をブランキングした状態では電子ビーム21をスキャンすることでSEM像を得るといった対策が採れる。必要に応じイオンビーム径の切替を行なうわけであるが、ビーム径切替機構は公知であり、例えば第14図に示すように、イオン光学系15の途中に異なった系をもつ2つの穴が穿設された可動板66を設け、真空外より真空フィードスルー67を介しアクチュエータ68で可動板66を所定位置に移動せしめることで、イオンビーム径を制限するといったものが知られている。これによる場合第15図(a),(b)に示すように、アパーチャとしての2つの穴69,70がイオンビーム軸71に対しそれぞれ異ったずれを持つ可能性があるので、ビーム径の切替に伴いイオンビームの焦点や照射位置が所望位置よりずれることになる。これに対して第16図に示すように、それぞれのビーム径に応じた最適のレンズ電圧とビーム照射位置ずれを補正するためのシフト電圧を予め記憶しておき、ビーム径を切替した際に、コントローラが必要な電圧を選択してビーム光学系に印加すればよい。

第17図は2種類のSEM像を得るための加工装置の構成を示したものであり、SEM観察用に2本の電子ビーム鏡筒11,11'がその軸方向を異にして設けられたものとなっている。何れの電子ビーム鏡筒11,11'からも同一被観察面に電子ビームを照射し得、2次電子ディテクタ12ではその被観察面からの2次電子を受け得るように設けられたものとなっている。よって、概ね2本の電子ビーム鏡筒11,11'と1本の2次電子ディテクタ12は加工穴の同じ側に配置されるようになっている。このように電子ビーム鏡筒が設けられるのは、SIM像の解像度が良好でなく加工穴の深さ精度良好に求められない場合であっても、2種類のSEMより加工穴の深さを精度良好に求めることが可能となるからである。

最後にLSI等の断面層を観察する場合について説明すれば、イオンビームで穴加工を行なう際、第18図(a)に示すように送り80の速度が大であるとビームの中心から四方に粒子がスパッタされ、スパッタされた粒子が側壁41に再付着するようになる。したがって、この再付着によって側壁41からの試料断面の観察は妨げられることになる。しかし、第18図(b)に示すようにイオンビーム20の送り80の速度が遅い場合は、スパッタ粒子は送りと逆方向側に飛散されることになる。そこで第19図に示すように、送り終了の度に、次送り開始位置を送り終了位置側に僅かづつ近づけるといった具合にして、複数回に亘って遅い送りが繰返される場合は、図示の如く形状に穴が加工されることが既に知られており、図示の例では左側の側壁41にはスパッタ粒子の再付着が少なく断面

観察に適した面となっている。よって、第20図に示すように、試料19の矢印82に沿った位置での断面を観察する場合は、長さ83だけ離れた位置を初期送り開始位置として、遅い送りが終了する度に、電子ビーム21を斜め上方からその側壁41に照射し、SEM像を得るようにすればよい。

一方、これとは別に第1図などに示すように、メインチャンバ1内にガス吹付けノズル90を設けるようにしてもよい。その際イオン源14、イオン光学系15をガスから保護すべくオリフィス91によりイオンビーム鏡筒10はメインチャンバ1とへだてられており、イオンビーム鏡筒10の内部は真空ポンプにより差動排気されるようになっている。

第21図に示すように、イオンビーム20による加工において、 $\text{SiO}_2$ 加工に対しては $\text{SF}_6$ 、 $\text{XeF}$ 等フッ素を含むガス92を、また、Al加工に対しては $\text{Cl}_2$ 、 $\text{BCl}_3$ 等塩素を含むものをガス吹付けノズル90より吹付けするようにすれば、スパッタ粒子は化学反応によってそれぞれフッ化シリコン、塩化アルミといった気体93に変化することになる。このため側壁41へのスパッタ粒子の再付着は殆ど発生せず、良好な断面を確保することが可能となる。 $\text{SiO}_2$ とAlとの層構造を持つLSI等の試料に対しては、加工中の材質に適したガスを選んで吹付けするか、あるいは混合ガスを吹付けすればよい。

以上本発明を説明したが、2次荷電粒子ディテクタとして2次電子ディテクタが用いられているが、これは2次イオンディテクタや、一次イオン、一次電子により発生するX線、蛍光等を検出するディテクタであってもよい。また、イオン源として液体金属イオン源が用いられているが、これはガスフェーズイオン源やプラズマイオン源であってもよい。

#### 【発明の効果】

以上説明したように本発明によれば、試料あるいは被加工物を集束イオンビームによって加工中であっても、試料あるいは被加工物を移動させることなく加工穴についてのSEM像が得られることから、イオンプロセスでの加工深さモニターや加工穴底面形状の観察が速やかに行ない得るといった効果がある。

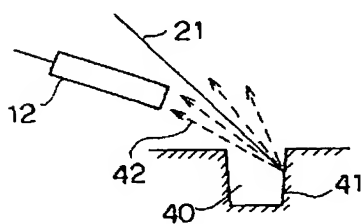
#### 【図面の簡単な説明】

- 第1図は、本発明に係る集束イオンビーム加工装置の一例での構成を示す図、第2図は、軸位置が調整可とされた電子ビーム鏡筒のメインチャンバへの取付方法を示す図、第3図は、電子ビーム軸とイオンビーム軸との関係を示す図、第4図は、2次電子ディテクタの設置の仕方を示す図、第5図は、2次電子ディテクタの他の設置態様を示す図、第6図は、イオンビームによるスキャン領域と電子ビームによるそれとの関係を示す図、第7図は、イオンビーム、電子ビームに対するスキャン制御の例を示す図、第8図(a)～(d)は、SEM像より加工深さを求めるための方法を示す図、第9図は、他の例での本発明に係る集束イオンビーム加工装置の構成を示す図、第10図は、SEM像とSIM像より加工深さを求めるための方法を示す図、第11図は、その場合での加工深さを自動的に求める方法を示す図、第12図は、1つのモニタにてSEM像とSIM像を切替表示するための方法を示す図、第13図(a)～(c)は、イオンビーム径が大である場合でのイオンビーム照射方法を説明するための図、第14図は、イオンビームの径切替機構を示す図、第15図(a)、(b)は、イオンビームの径切替に際しアパーチャ中心とイオンビーム軸との間にずれが生じることを説明するための図、第16図は、イオンビームの焦点や照射位置のずれ補正方法を説明するための図、第17図は、他の例での本発明に係る集束イオンビーム加工装置の構成を示す図、第18図(a)、(b)は、イオンビームの送り速度の違いによる粒子のスパッタ方向を説明するための図、第19図は、イオンビームの送り速度が遅い場合での穴加工形状を示す図、第20図は、断面を観察する場合での加工方法を説明するための図、第21図は、スパッタ粒子のガスによる気体化を説明するための図である。

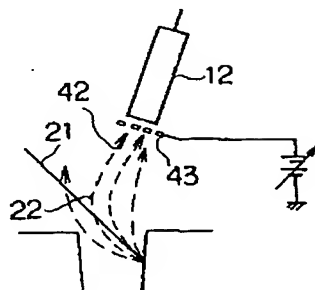
#### 符号の説明

- 1……メインチャンバ、3……ロードロックチャンバ、10……イオンビーム鏡筒、11,11'……電子ビーム鏡筒、12……二次電子ディテクタ、13……試料ステージ、53,55,59……ブランキング制御器、52,54……スキャン制御器、56……イメージ制御器、57,57'……モニタ、60……電子シャワ銃、90……ガス吹付けノズル。

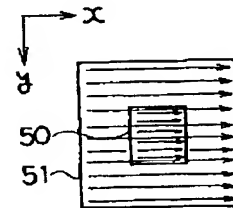
【第4図】



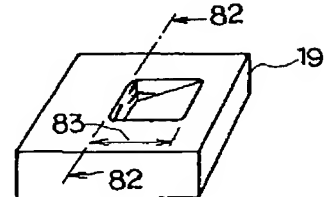
【第5図】



【第6図】

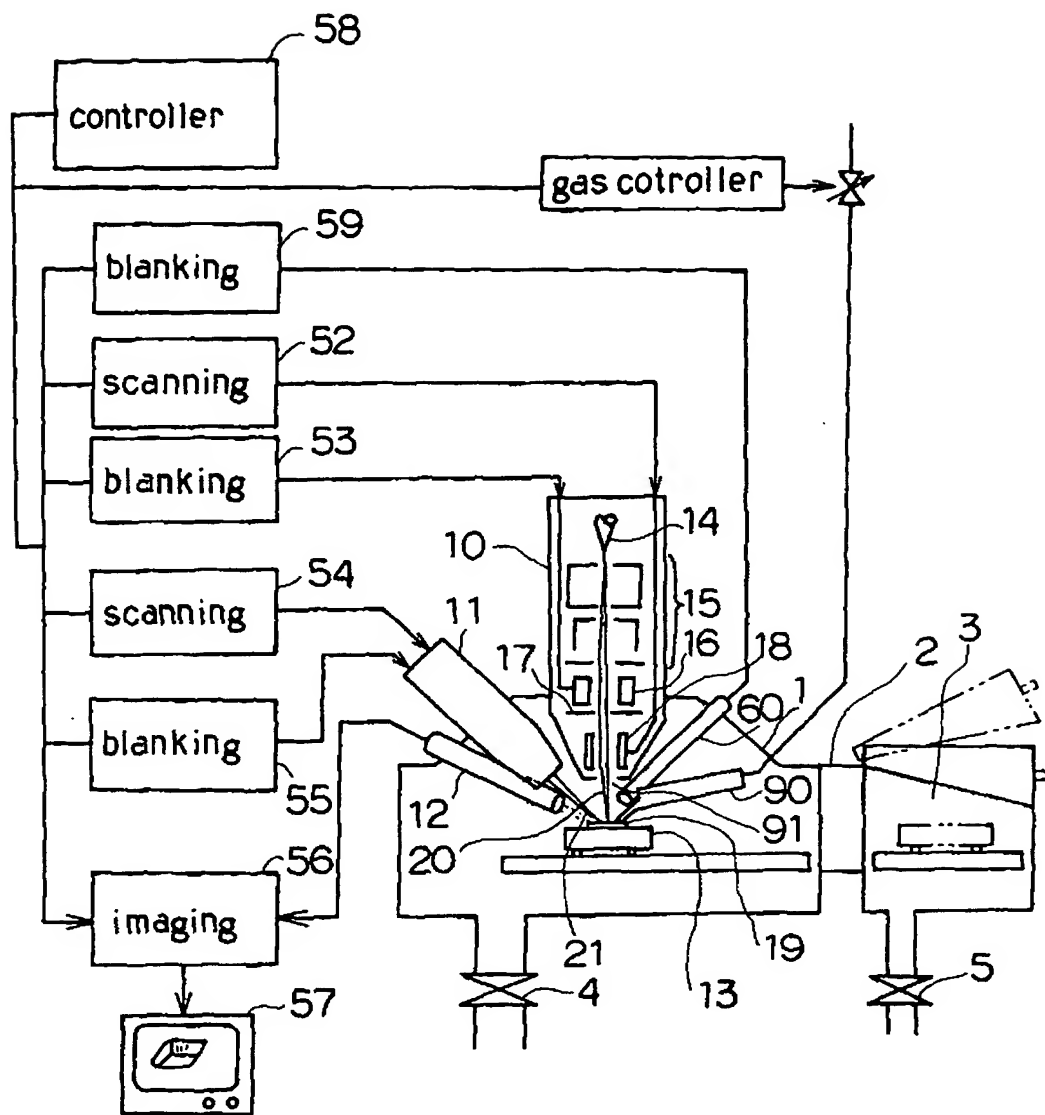


【第20図】

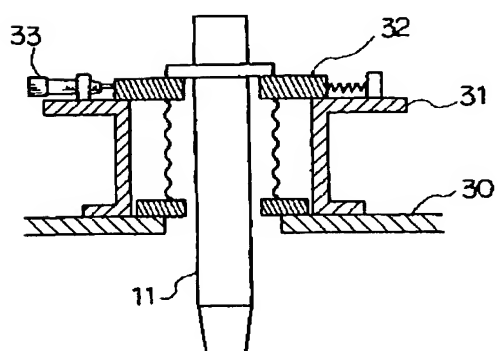




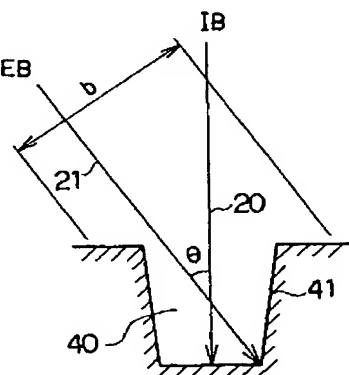
【第1図】



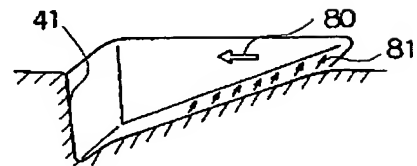
【第2図】



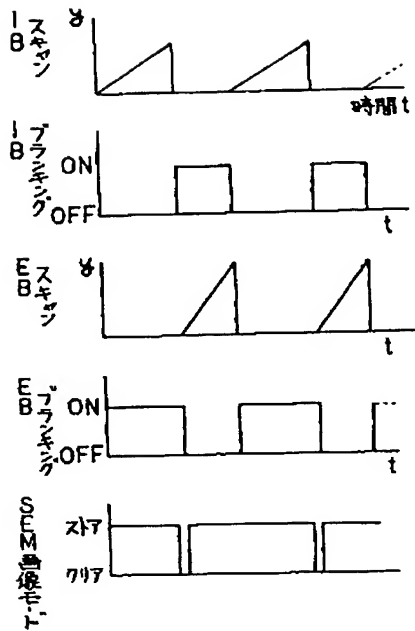
【第3図】



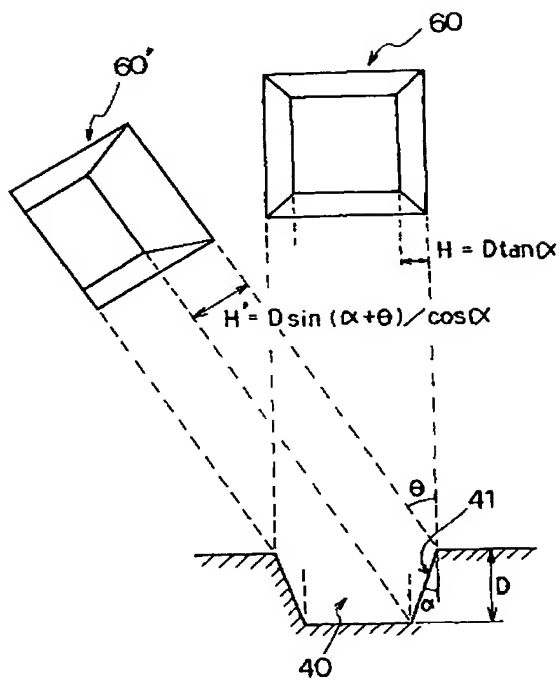
【第19図】



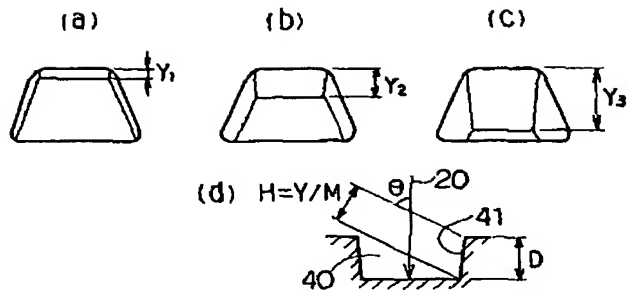
【第7図】



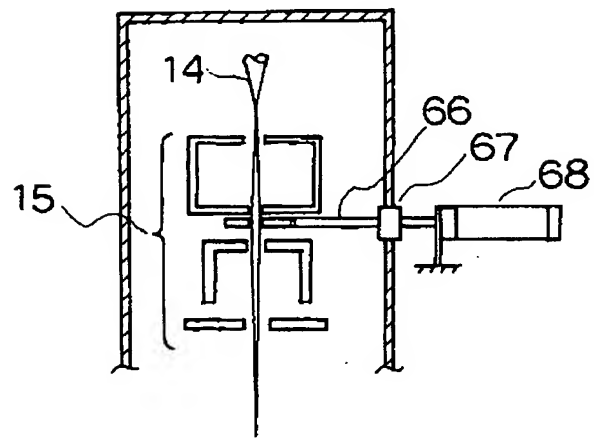
【第10図】



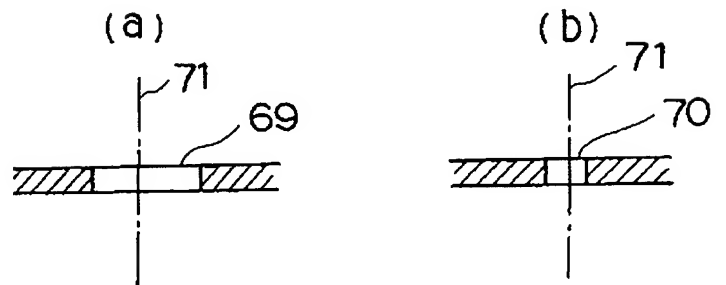
【第8図】



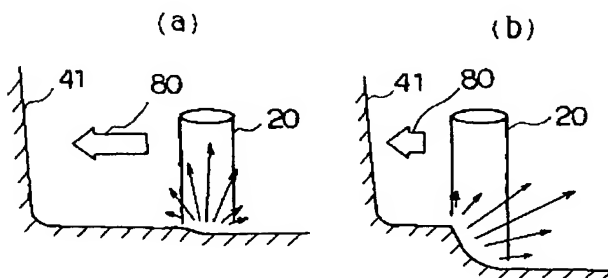
【第14図】



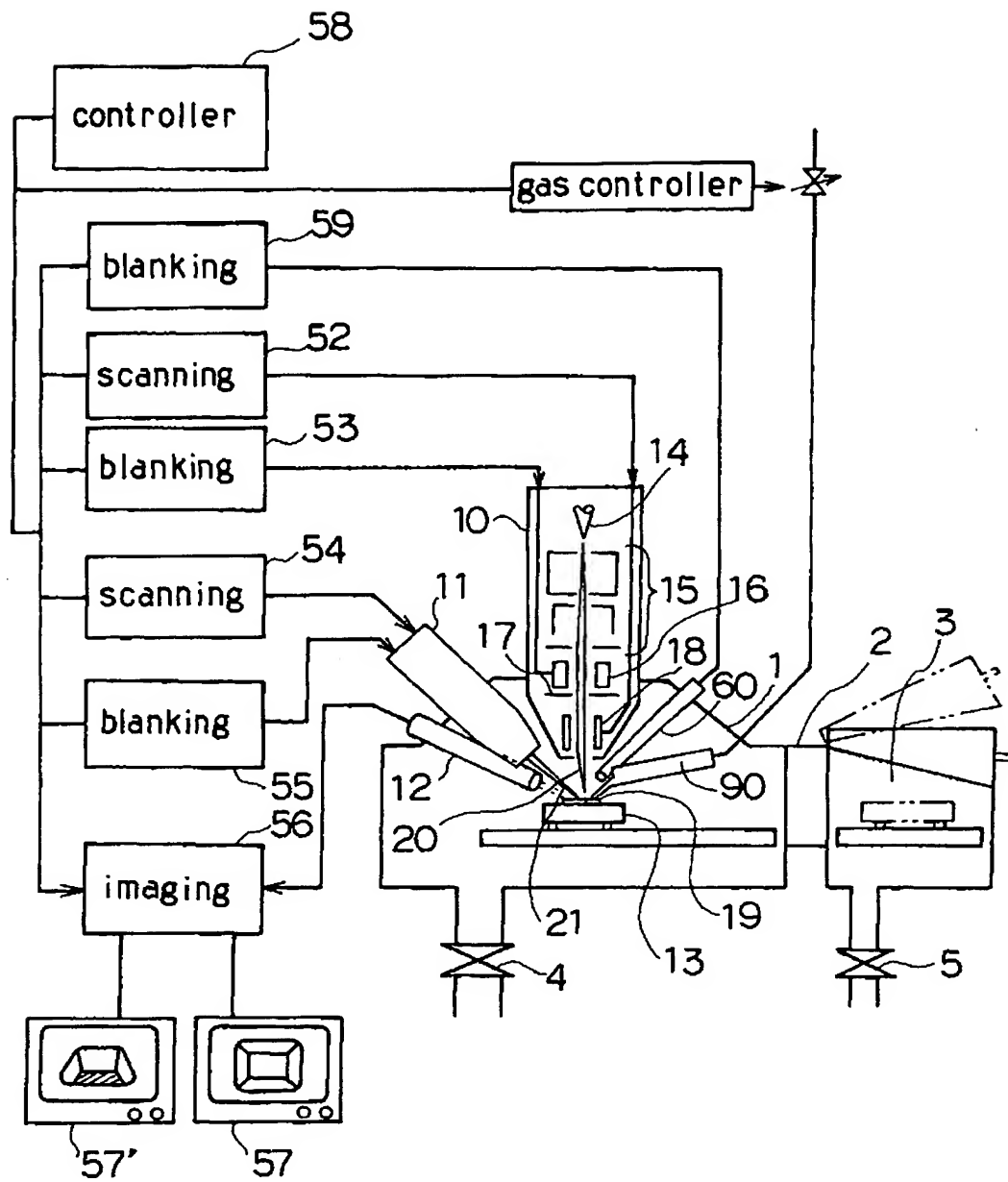
【第15図】



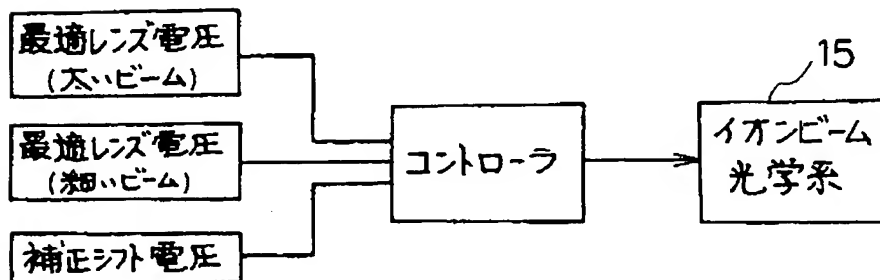
【第18図】



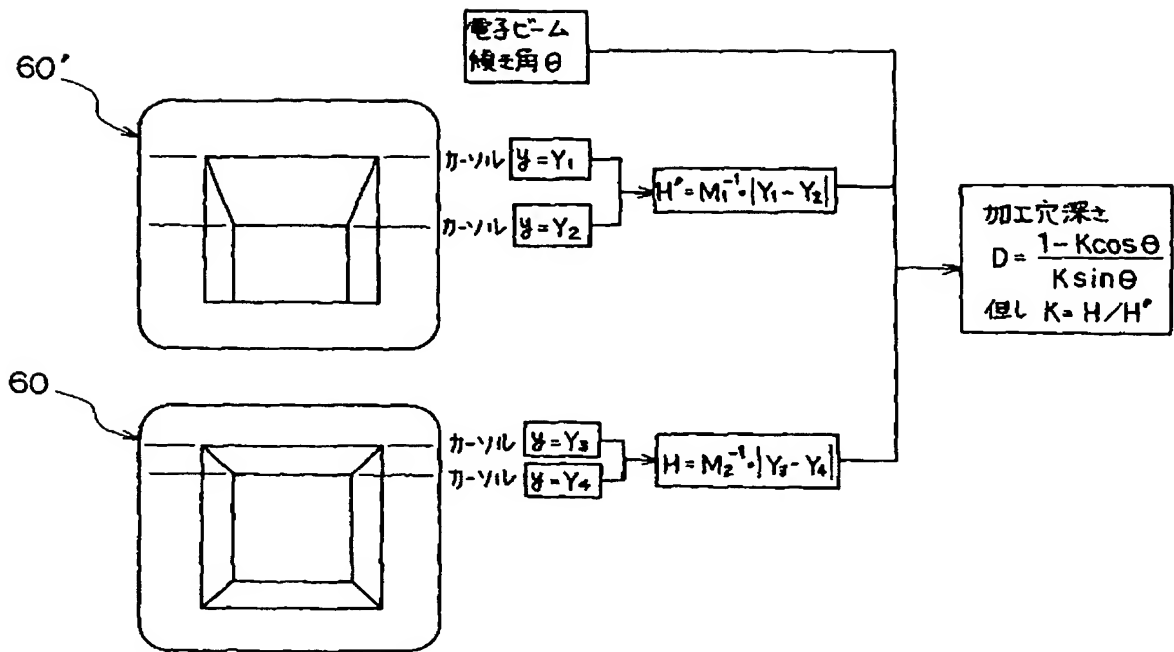
【第9図】



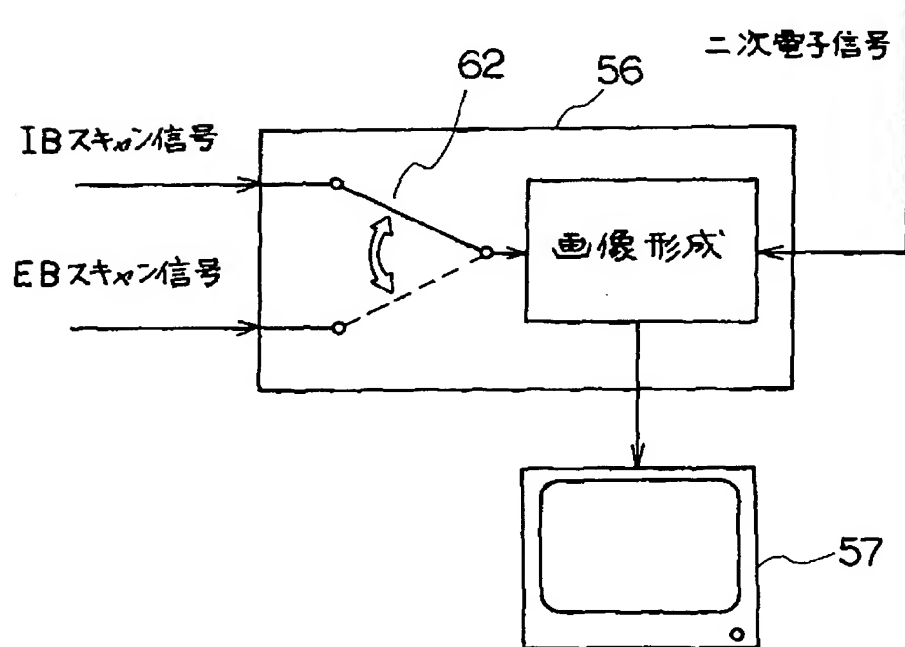
【第16図】



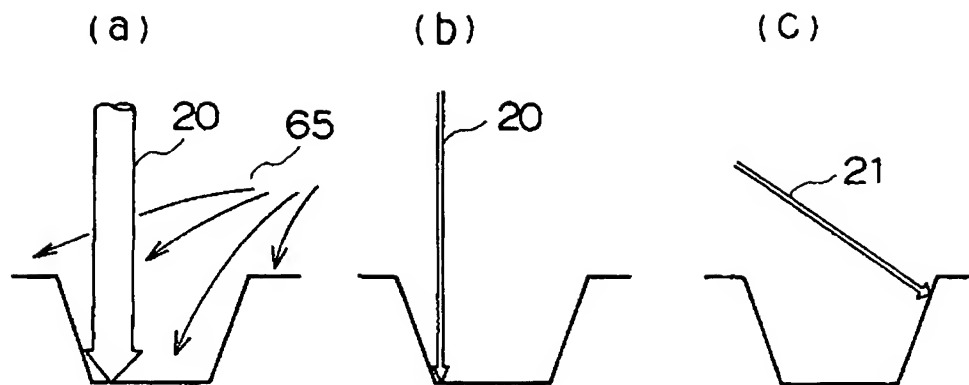
【第11図】



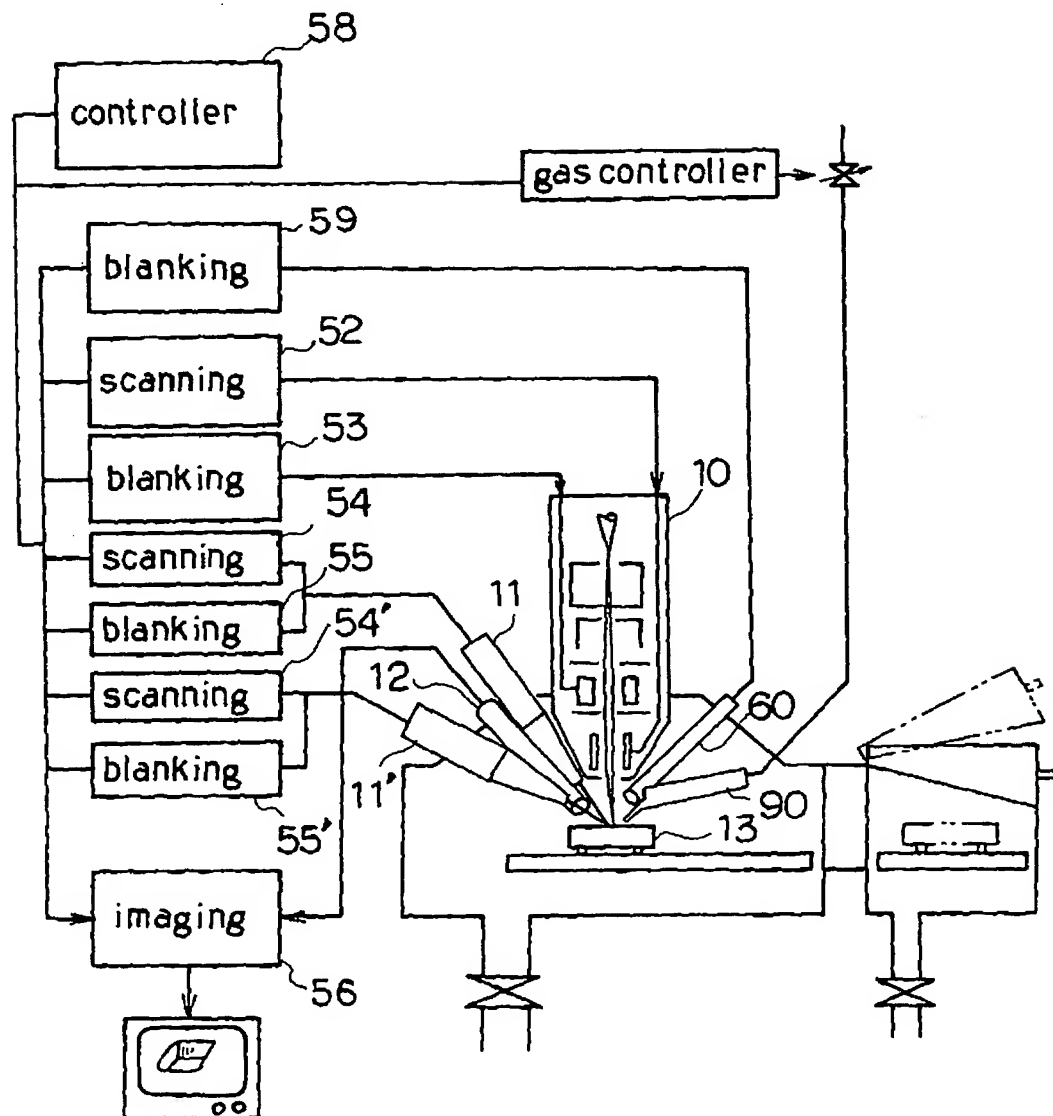
【第12図】



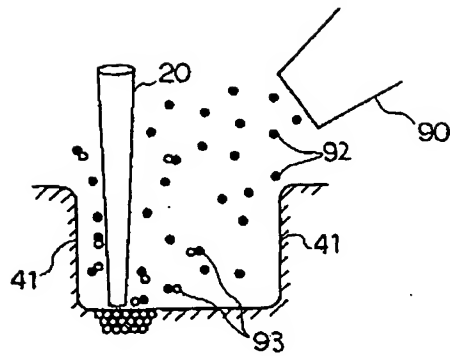
【第13図】



【第17図】



【第 2 1 図】




---

フロントページの続き

(72)発明者 嶋瀬 朗

神奈川県横浜市戸塚区吉田町292番地  
株式会社日立製作所生産技術研究所内

(72)発明者 高橋 貴彦

東京都青梅市今井2326番地 株式会社日  
立製作所デバイス開発センタ内

(56)参考文献

特開 昭58-164135 (J P, A)

特開 昭61-248346 (J P, A)

特開 昭59-208830 (J P, A)

特開 平1-180791 (J P, A)